

Rancang Bangun *Vacuum Clamp* sebagai Teknologi Pendukung dalam Pengerjaan Kayu pada Mesin *Cnc Router 3 Axis*

Yogi Setiawan^{1*}, Faiz Hamzah², Fipka Bisono³

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia.^{1,2,3}
 E-mail: yogisetiawan1945@gmail.com^{1*}

Abstract – Proses milling material kayu yang tipis pada mesin *CNC Router 3 Axis* tidak dapat menggunakan cekam biasa. Material kayu yang tipis bisa dijepit dengan clamp atau dibaut. Pembuatan lubang baut juga tidak mudah dan tidak efisien. Selain clamping kit alat cekam bisa menggunakan sistem perekatan dengan lem yang dapat merusak permukaan material. Dari permasalahan tersebut, diperlukan alat cekam yang mampu menahan gaya potong saat proses milling tanpa merusak permukaan material. *Vacuum clamp* merupakan sebuah solusi untuk permasalahan tersebut. Metode yang digunakan dalam pembuatan *vacuum clamp* dimulai dari proses observasi spesifikasi mesin *CNC router* dan sifat material kayu. Setelah data yang dikumpulkan, maka dilakukan proses perhitungan kapasitas pompa, kekuatan cekam, dan detail drawing. Proses berikutnya yaitu pembuatan komponen dan perakitan *vacuum clamp* yang akan diuji langsung pada mesin *CNC router 3 axis*. Hasil dari penelitian ini yaitu dari nilai tegangan geser kayu jati sebesar 13 Mpa menggunakan endmill 6 mm sudut helix 25° didapatkan resultan gaya potong sebesar 40,97 N. Dari luas minimum meja vakum 1764 mm², dipilih kapasitas pompa sebesar 1 bar. Pengujian dilakukan menggunakan 1 meja vakum dan 2 meja vakum dengan uji kesejajaran dan dimensi profil, hasil pengukuran produk uji menghasilkan nilai akurasi > akurasi penyimpangan maksimum.

Keywords: *CNC router, Kayu, Klem, Vacuum*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki peluang terhadap pasar internasional di bidang produk perkapalan menuju visi ekonomi kreatif Indonesia 2025 (Pangestu, 2008). Indonesia memiliki beberapa subsektor industri kerajinan yaitu salah satunya kelompok 20293 bidang ukir – ukiran kecuali *mebeller* seperti relief, topeng, patung, wayang, pigura, dan kap lampu (Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia, 2005). *CNC router 3 axis* sudah banyak berkembang di dunia industri manufaktur mebel dan interior. Salah satu pengembangan *CNC router* kayu yaitu dengan ukuran meja kerja 350 mm x 530 mm digunakan untuk pengerjaan kayu jati, mahoni, *playwood*, dan jenis kayu lain (Dzuhriansyah, 2017). Pada mesin *CNC* yang sudah ada penekaman material masih menggunakan klem dan mur baut yang menimbulkan kerusakan permukaan material, selain itu pembuatan lubang baut tidak efisien dan posisi klem dapat menimbulkan tabrakan dengan pisau potong (Anggoro, 2015). Dari permasalahan tersebut diperlukan alat cekam yang tidak merusak material dan alat potong serta mampu menahan gaya potong material kayu supaya tidak lepas saat proses *machining*. *Vacuum clamp* merupakan sebuah solusi, dimana alat ini bekerja dengan pompa vakum yang menghisap material melalui meja kerja yang dipasang dengan karet *seal* (Yanel, 2015). Cekam vakum mampu

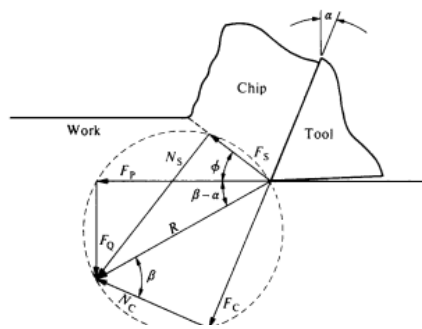
menarik setiap sisi material kayu tanpa merusak permukaan material. Selain itu posisi material yang bebas dari klem, sehingga tidak ada resiko tabrakan dengan pisau potong. Perumusan masalah yang ada yaitu bagaimana merancang dan membangun alat cekam dengan sistem vakum yang mudah digunakan, berapakah kapasitas pompa yang diperlukan, serta bagaimana cara kerja alat cekam vakum pada *CNC router* kayu. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membuat rancang bangun alat cekam dengan sistem vakum, cara kerja, serta kebutuhan kapasitas pompa yang akan digunakan. Ruang lingkup pada penelitian mengacu pada aplikasi cekam vakum pada *CNC router 3 axis* dengan material yang dapat dicekam yaitu kayu. Pembuatan alat cekam dengan sistem vakum diharapkan dapat memaksimalkan hasil pengerjaan pada *CNC router* tanpa merusak material dengan proses penekaman yang efisien.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini menggunakan metode pengumpulan dan analisa data, perhitungan, pembuatan gambar kerja, pengerjaan dan perakitan komponen, serta pengujian alat. Data yang diperlukan untuk perancangan *vacuum clamp* yaitu spesifikasi meja kerja *CNC router* yaitu 350 mm x 530 mm, diameter alat potong yang digunakan yaitu endmill Ø 6 mm hingga Ø 12 mm, serta *mechanical properties* material kayu keras yaitu kayu jatidengan tegangan geser 13

Mpa dan kayu mahoni dengan tegangan geser 8,5 Mpa. Data tersebut digunakan untuk perancangan dimensi meja vakum, kapasitas pompa, serta komponen pendukung lainnya. Material meja vakum dipilih berdasarkan spesifikasi material yang mudah dikerjakan, ringan, kuat terhadap tekanan, serta tidak merusak material kayu yang di cekam. *Polyoxymethylene* (POM) adalah satu jenis polimer yang memiliki sifat kekerasan, kekuatan dan ketahanan seperti logam serta tidak mudah memuai dan menyusut dalam perubahan temperatur, selain itu material ini juga sering diaplikasikan dalam bahan komponen di industri mekanik, elektrik, dan otomotif (Smith Metal Centres, 2017). Berikut beberapa landasan teori yang digunakan untuk perhitungan pada *vacuum clamp*:

Dalam perhitungan gaya potong pada mesin CNC router ini memakai persamaan *orthogonal cutting* dari teori Ernest dan Merchant (1945). Pada Gambar 1 merupakan diagram lingkaran Merchant yang menggambarkan pergerakan tatal saat proses pemotongan material.



Gambar 1. Merchant Circle Diagram Pada Proses Pemesinan
(Sumber : Ernest & Merchant dalam Shaw, 2005:18)

Permukaan pisau potong yang menyentuh dan membuat gesekan dengan material juga diperhitungkan dengan persamaan (Shaw, 2005:18) yaitu :

$$\mu = \tan \beta \quad (1)$$

Dimana β adalah sudut gesek saat terjadi pemotongan, nilai koefisien gesek (μ) pada material kayu.

Sedangkan untuk mengetahui sudut geser (θ) memiliki persamaan berikut :

$$\theta = 45^\circ + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (2)$$

Dari analisa teoritik tentang proses pembentukan geram telah disinggung satu bentuk rumus gaya potong (Rochim, 1993). Yaitu sebagai berikut :

$$F_v = F_t = \tau_{shi} \cdot b \cdot h \frac{\cos(\eta - \gamma)}{\sin \theta \cos(\theta + \eta - \gamma)} \quad (3)$$

$$h = f_z \cdot \sin \theta \quad (4)$$

Menurut (Rochim, 1993) kekuatan dari *vacuum clamping* terletak pada pompa vakum dan luasan areacekam yang digunakan, dimana:

$$F = P \cdot A$$

Diameter lubang selang vakum dapat diketahui dari persamaan kontinuitas debit aliran (Walker, 2011:373), yaitu:

$$Rv = A \cdot v \quad (6)$$

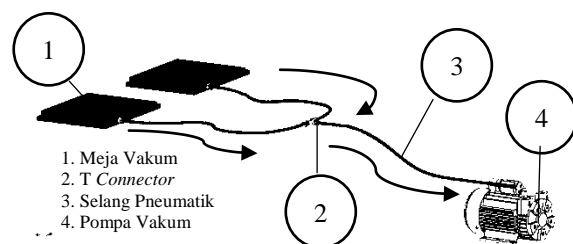
Perancangan dan pembuatan *vacuum clamp* melewati beberapa proses yang masing – masing membutuhkan alat dan bahan. Dari Tabel 1. dapat diketahui kebutuhan alat dan bahan sebagai berikut.

Tabel 1: Kebutuhan Alat dan Bahan

No.	Proses Penegerjaan	Alat	Bahan
1	Observasi dan Pengumpulan Data		
2	Perhitungan dan Perencanaan		
3	Pembuatan Detail Drawing	Software Solidwork 2016 dan Autocad 2007	
4	Proses Machining	Software Mastercam X5 dan CNC Router 3 Axis	Material Kerja (<i>Polyoxymethylene</i>)
5	Proses Perakitan	Kunci L dan Kunci Pas	Pompa Vakum, Selang, Nepel, Karet O Seal, Mur dan Baut
6	Proses Pengujian	Software Mastercam X5 dan CNC Router 3 Axis	Material Kerja (Kayu Jati dan Mahoni)

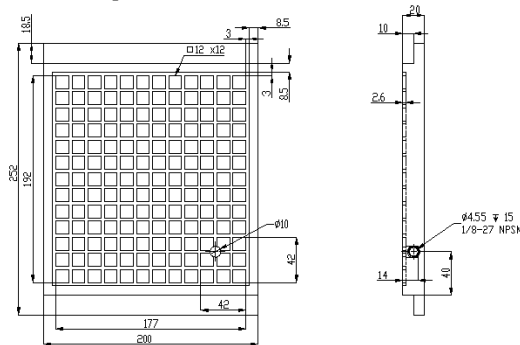
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perencanaan *vacuum clamp* dilakukan pengelompokan dari setiap komponen untuk mempermudah tahap desain dan perhitungan. Adapun komponen tersebut yaitu pompa vakum, selang pneumatik, nepel, meja vakum, dan karet O seal. Berikut ini Gambar 2. merupakan rancangan sistem kerja cekam vakum dari meja menuju pompa vakum melalui selang pneumatik via Solidwork 2016.



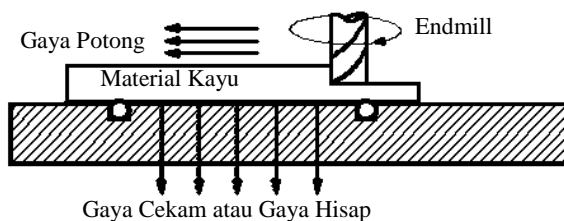
Gambar 2. Sistem Aliran Udara Cekam Vakum

Berdasarkan Gambar 2. udara yang berada pada area meja yang diberi *rubber seal* dihisap oleh pompa vakum, sehingga tercipta area vakum yang akan menghasilkan gaya hisap atau gaya cekam pada material kayu. Meja vakum ini memiliki *grid* atau alur yang berfungsi untuk meletakkan karet *seal O ring*, sehingga dapat menciptakan area vakum dengan luasan tertentu. Dalam penelitian ini ukuran lebar alur disesuaikan dengan diameter karet *seal O* yang ada di pasaran yaitu untuk diameter karet 3 mm. Ukuran alur yang kecil dapat memperbanyak jumlah *grid* pada meja vakum. Diameter lubang dan jarak antar lubang yang semakin kecil akan membuat kekuatan cekam vakum semakin besar (Wibisono dan Herianto, 2016). Dengan dimensi meja kerja 530 mm x 350 mm, maka direncanakan meja vakum dengan jumlah 2 buah dengan dimensi 252 mm x 200 mm yang dihubungkan dengan nepel T *connector*. Meja vakum dengan jumlah 2 buah juga bertujuan untuk efisiensi dalam pemindahan meja dan luasan area yang di cekam. Pada Gambar 3. Merupakan desain dan dimensi kerja dari *grid vacuum clamp*.



Gambar 3. Desain dan Ukuran Grid Vacuum Table Via Solidwork 2016

Vacuum pump ditentukan dengan spesifikasi yang memenuhi gaya cekam yang diperlukan guna melawan gaya potong yang bekerja saat proses *machining* kayu. Dari persamaan rumus tekanan yaitu $P = F/A$, dimana P merupakan tekanan vakum, F yaitu gaya potong yang bekerja pada material kayu, dan A merupakan luas area vakum yang bekerja. Maka tekanan pompa dihitung berdasarkan luas area vakum minimum yang digunakan pada *vacuum clamp* yaitu sebesar 1764 mm^2 .



Gambar 4. Sistematika Gaya Potong Dengan Gaya Cekam Saat Proses Machining

Pada Gambar 4. dapat diketahui sistematika dari *clamping force* alat cekam vakum untuk melawan gaya potong dari pisau potong diameter 6 mm dengan tipe *helix flute*. Pisau potong tipe *helix* memiliki *rake angle* (α) sebesar 25° (Shaw, 2005:403). Nilai koefisien gesek (μ) pada material kayu yaitu 0,5, Jadi nilai sudut gesek pada pemotongan (β) berdasarkan persamaan (1) yaitu :

$$\beta = 26,56^\circ$$

Sedangkan untuk mengetahui sudut geser (θ) didapatkan dari persamaan (2) berikut :

$$\theta = 44,22^\circ$$

Dalam penelitian ini perhitungan gaya potong mengacu pada pemakanan per gigi dari diameter tool paling besar yang dapat terpasang pada mesin yaitu diameter 6 mm atau 1/4 inchi. Pada Tabel 2. menunjukkan nilai pemakanan per gigi (f_z) berdasarkan hubungan antara material yang dikerjakan, dan diameter pisau potong. jumlah mata potong pada pisau router yaitu 2 *flute*, putaran *spindle* yang digunakan yaitu 10000 RPM dan nilai kecepatan pemakanan pada material *hardwood* sebesar 4,5 m/min atau 4500 mm/min dengan f_z sebesar 0,225 mm/tooth.

Maka lebar gram sebelum pemotongan (h) pada proses router dapat diketahui dengan persamaan (4) sebagai berikut.

$$h = 0,164 \text{ mm}$$

Pengujian *vacuum clamp* diasumsikan untuk mengerjakan material kayu dengan tegangan geser paling besar (*hardwood*) yaitu kayu jati dengan nilai 13 Mpa. Nilai *safety factor* yang digunakan pada sistem vakum dalam aplikasi terhadap permukaan material yang kasar sebesar ≥ 2 (Festo : 45). Digunakan nilai *safety factor* sebesar 2 dalam menentukan perhitungan gaya potong material dan kapasitas tekanan pompa vakum yang dibutuhkan. Berdasarkan data yang sudah diketahui berikut. Dari data di atas dapat dihitung besarnya gaya potong dengan persamaan (3) sebagai berikut :

$$F_t = 28,68 \text{ N}$$

Resultan gaya (R) pada proses pemotongan dapat diketahui menggunakan persamaan hubungan antara satu sudut dengan dua garis pada Gambar 1. Merchant Circle Diagram yaitu sebagai berikut :

$$R = 40,97 \text{ N}$$

Maka dari persamaan (5) tentang rumus tekanan akan diketahui besar kapasitas pompa minimum yang akan digunakan.

$$P = 0,046 \text{ N/mm}^2 = 0,046 \text{ Mpa}$$

Tekanan pompa vakum minimum yang dibutuhkan yaitu sebesar 0,046 Mpa, jika dikonversi ke dalam satuan milibar yaitu 464,54 milibar. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan kapasitas tekanan pompa yang dibutuhkan untuk sistem cekam vakum kayu dan disesuaikan dengan ketersediaan alat yang terdapat di pasar, maka dipilih jenis pompa vakum SML – 140 dengan *ultimate pressure* 1 bar. Karet O Seal dipilih berdasarkan ukuran alur yang terdapat pada meja vakum yaitu memiliki sebesar 3 mm. Ukuran panjang *rubber seal* bervariasi tergantung dengan area vakum yang ingin digunakan. Permukaan karet O seal dengan permukaan meja vakum memiliki selisih 0,5 mm, sehingga permukaan kayu bagian bawah yang terhisap oleh vakum dapat tertarik dengan rapat dan tidak bocor. Pompa vakum tipe SML 140 memiliki spesifikasi *nominal displacement* (kemampuan memindahkan volume udara) minimum sebesar 120 liter/menit. Panjang selang yang direncanakan yaitu 3 meter. Dalam perencanaan meja vakum dibuat dengan tebal 20 mm, untuk keperluan pemasangan nepel pneumatik pada meja dipilih diameter luar selang dengan ukuran 8 – 10 mm. Selain itu diameter selang yang semakin kecil dapat meningkatkan kecepatan aliran vakum dalam sistem. Berdasarkan perhitungan dan faktor perancangan, maka dipilih jenis selang *polyurethane ester base* tipe US8057 dari produk *San Hua Plastic Industrial* dengan diameter luar 8 mm, diameter dalam 5,7 mm, dan berwarna transparan. Dipilih *plastic push fitting male straight* dengan tipe PC 08-01 dengan dimensi lubang selang 8 mm dan tipe ulir 1/8 inchi NPT (diameter luar ulir 9,9 mm dan panjang ulir 8 mm). Proses *machining* digunakan untuk melakukan pengerjaan *grid vacuum table*, proses ini menggunakan software *Mastercam X5*. Pisau potong yang digunakan yaitu *endmill* Ø 3 mm dan Ø 6 mm. Proses perakitan dilakukan setelah semua komponen telah dipersiapkan sesuai sistematika pada Gambar 2. Proses uji dilakukan dengan 4 tahap yaitu uji parallel pada *single vacuum clamp*, uji profil pada *single vacuum clamp*, uji parallel pada *multiple vacuum clamp*, dan uji profil pada *multiple vacuum clamp*. Pengujian dilakukan pada CNC router 3 axis dengan material kerja kayu jati dan kayu mahoni. Dari hasil pengolahan tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai rata – rata tingkat akurasi sebagai berikut yaitu pada kesejajaran dimensi *single vacuum clamp* bernilai 99,34 % dan pada dimensi profil *single vacuum clamp* bernilai 99,51 %. Sedangkan pada pengujian *multiple vacuum clamp* memiliki hasil sebagai berikut yaitu pada kesejajaran dimensi bernilai 97,27 % dan pada dimensi profil bernilai 97,27 %. Dari hasil pengujian yang sudah diketahui, maka kinerja alat cekam vaku (*vacuum clamp*) dapat

memenuhi kekuatan cekam material kayu, kerataan permukaan material (tidak melengkung, dan aman dari resiko tabrakan pisau dengan alat cekam (klem) yang digunakan sebelumnya.

4. KESIMPULAN

- Dalam perencanaan *vacuum clamp* diperlukan beberapa faktor yaitu ukuran dimensi meja CNC Router yaitu 530 mm x 350 mm dan diperlukan 2 meja vakum dengan dimensi 200 mm x 252 mm, serta tegangan geser kayu jati yaitu 13 Mpa. Setelah tahap perhitungan maka dilakukan proses *machining* pada meja vakum dengan mesin CNC. Tahap terakhir yaitu perakitan komponen pompa, selang, nepel, dan karet *seal* sehingga dapat diuji kekuatan cekamnya dengan 4 tahap pengujian pada mesin CNC router kayu.
- Dari perhitungan gaya potong didapatkan nilai sebesar 40,97 N, sehingga kapasitas pompa vakum 1 bar dengan *nominal displacement* 140 L/min. Dalam penelitian ini *vacuum pump* menggunakan tipe SML 140 untuk memberikan gaya cekam yang cukup pada kayu jenis *hardwood*.
- Sistem cekam vakum bekerja dengan mengosongkan udara di bawah permukaan material dengan pompa vakum, sehingga tercipta gaya hisap dengan bantuan karet O seal yang berfungsi membatasi aliran udara pada area vakum. Dari hasil uji diketahui bahwa *vacuum clamp* mampu mengerjakan profil luar tanpa menabrak klem, dan tingkat akurasi dimensi ukur > akurasi penyimpangan maksimum (0,5 mm).

5. DAFTAR NOTASI

$F_v = F_t$	= Gaya potong (N)
τ_{shi}	= Tegangan geser dinamik pada material (N/mm ²)
b	= Lebar pemotongan (mm)
h	= Tebal geram sebelum terpotong (mm)
η	= Sudut gesek saat pemotongan
γ	= Sudut geram pada pisau potong
θ	= Sudut geser pada pisau potong
fz	= pemakanan setiap gigi pada mata potong (mm/gigi)
Rv	= Aliran perpindahan volume fluida (m ³ /s)
A	= Luas penampang (m)
v	= Kecepatan aliran (m/s)
F	= gaya cekam (N)
P	= Tekanan hisap (Mpa)
A	= Luasan area hisap (jumlah lubangx luas lubang hisap) (mm ²)

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dzuhriansyah, M.A.R. (2017). Rancang Bangun CNC Router Kayu Dengan Menggunakan Control Mach3. **Laporan Tugas Akhir PPNS**, Surabaya. Indonesia Trade Promotion Center. (2013). **Peluang Ekspor Produk Pintu Kayu (Wooden Door) Di Pasar Kanada**. Market Brief ITPC Vancouver, Canada.
- [2] Pangestu, M E. (2008). **Rencana Pengembangan 14 Subsektor Industri Kreatif Indonesia (2009 – 2015)**. Departemen Perdagangan RI, Jakarta.
- [3] Rochim, T. (1993). **Teori dan Teknologi Proses Permesinan**, Jakarta.
- [4] Shaw, M.C. (2005). **Metal Cutting Principles 2nd Edition**. Oxford University Press, Inc. United States of America.
- [5] Walker, J. (2011). **Fundamentals of Physics 9th Edition**. John Wiley & Sons, Inc., United States of America.

